



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan Rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efesiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.



### 2.1.1 Klasifikasi Motor Listrik AC<sup>1</sup>

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

#### A. Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron.
  - Biasa ( tanpa slip ring )
  - Super ( dengan slip ring )
2. Motor Asinkron.
  - Motor Induksi (Squirrel Cage Rotor & Winding Rotor )

#### B. Berdasarkan Macam Arus<sup>2</sup>

1. Satu phasa

Motor ini hanya memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu phasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

2. Tiga phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga phasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan *grinder*.

#### C. Berdasarkan Kecepatan

---

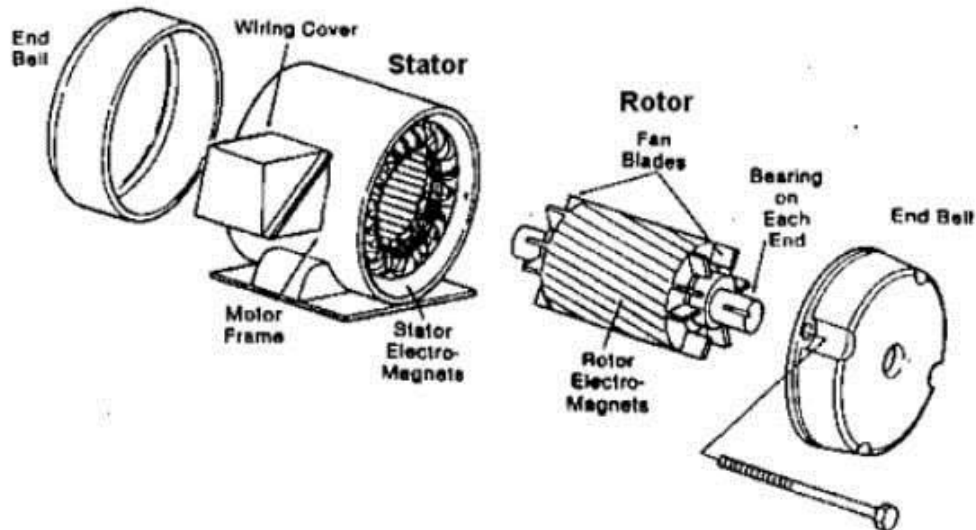
<sup>1</sup> Rijono, Yon, Drs. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hal : 309

<sup>2</sup> Anonim. 2006. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org). UNEP. Nairobi, Kenya. Hal : 8

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan diatur

### 2.1.2 Konstruksi Motor Induksi<sup>3</sup>

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor) seperti pada gambar 2.1. Secara ringkas stator terdiri dari blok – blok dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blok yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur – alur. Didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 - 0,5 mm, tersusun rapi, masing – masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung – ujungnya.



**Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi**

Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1 m. Bagi motor dengan garis tengah yang lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung – sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan

<sup>3</sup> Rijono, Yon, Drs. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hal : 311

rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm, pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang / sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.

#### **A. Stator (bagian motor yang diam)**

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator. Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

$$n_s = \frac{120 f}{P} \dots\dots\dots (2.1)^4$$

Dimana :

$n_s$  = Kecepatan sinkron (rpm)

$f$  = Besarnya frekuensi (Hz)

$P$  = Jumlah kutub

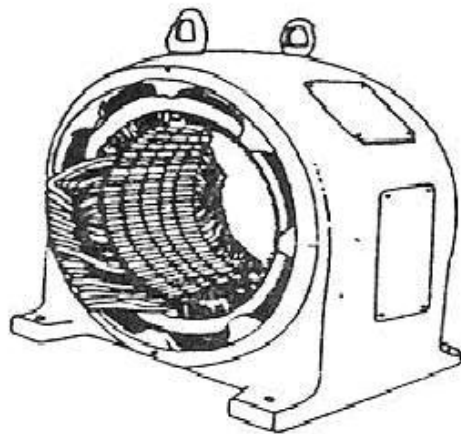
---

<sup>4</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68

Konstruksi stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu:

1. Bodi motor (gandar)
2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
3. Sikat arang

Bentuk konstruksi stator motor induksi dapat kita lihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Stator**

1. Bodi motor (gandar)<sup>5</sup>

Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub – kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat – alat tertentu dan melindungi bagian – bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

---

<sup>5</sup> Susanto, Tri, 2012. Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Yang Digunakan Sebagai Pompa Sirkulasi Pendingin Generator Turbin Gas Di PT. Pertamina RU III Plaju. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hal : 10



### 3. Sikat – Sikat Dan Pemegang Sikat.

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan biasanya terbuat dari bahan arang.

Dibawah ini menunjukkan kelompok - kelompok tingkatan sikat, antara lain :

- a. Sikat grafit alam
- b. Sikat karbon keras
- c. Sikat elektrografit
- d. Sikat grafit logam
- e. Sikat karbon logam.

Sikat – Sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang. Aus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat ( gagang – sikat ). Bagian puncak dari sikat diberi pelat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat

Satu atau dua pengantar yang fleksibel dibenamkan ke dalam sikat untuk menghantarkan arus dari sikat ke jepitan dari pemegang sikat bila sikat – sikat terdapat pada kedudukan yang benar, maka baut harus dieratkan sepenuhnya. Ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Gagang sikat ( pemegang sikat ) berguna untuk menimbulkan tekanan yang diperlukan antara sikat. Ketiadaan bunga api pada komutator banyak tergantung pada mulur dari perakitan dan pemasangan gagang sikat. Tiap – tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan pada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

### **B. Rotor (bagian motor yang bergerak)<sup>6</sup>**

Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengibaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl imbas ini sama dengan frekuensi jala – jala.

---

<sup>6</sup> Susanto, Tri, 2012. Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Yang Digunakan Sebagai Pompa Sirkulasi Pendingin Generator Turbin Gas Di PT. Pertamina RU III Plaju. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Hal : 11



Besar ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian melaju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz.

Arahnya melawan fluksi yang mengimbas, dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator, untuk mengurangi beda kecepatan diatas. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

### **1. Motor rotor sangkar<sup>7</sup>**

Motor rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel, atau kira – kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan singkatkan dengan cincin ujung. Batang rotor dan cincin ujung sangka yang lebih kecil adalah coran tembaga atau almunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Bentuk motor rotor sangkar sendiri dapat dilihat pada gambar 2.3. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang jalan.

---

<sup>7</sup> Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 83



**Gambar 2.3 Motor Induksi Rotor Sangkar**

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai yang terlihat pada gambar dibawah ini, konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik lainnya.

Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan.

Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan oto transformator atau saklar Y – D. Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini dapat digunakan jenis rotor dengan sangkar ganda.

## **2. Motor rotor belitan<sup>8</sup>**

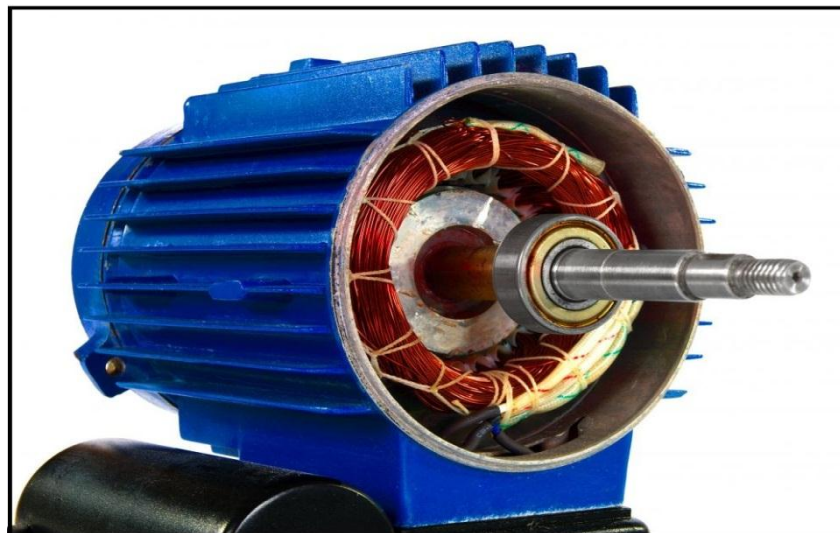
Motor rotor lilit atau motor cincin slip berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya. Bentuk motor rotor belitan dapat dilihat pada gambar 2.4. Seperti namanya rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor.

---

<sup>8</sup> Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 82



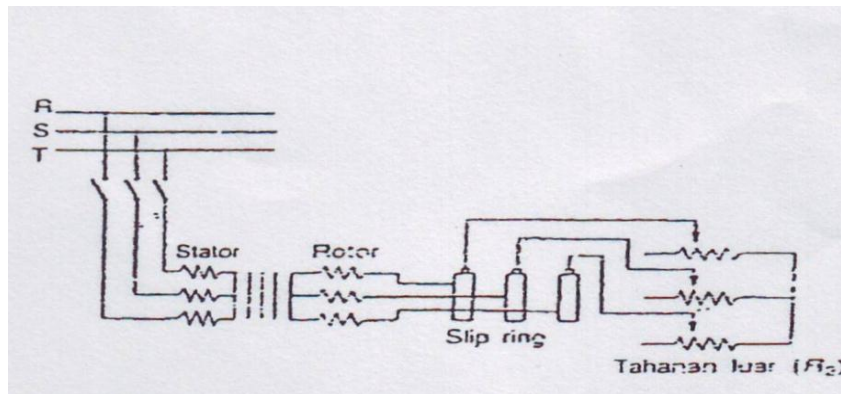
Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin slip dan sikat – sikat dapat dilihat berada disebelah kiri lilitan rotor. Lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat semata – mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian motor. Motor rotor lilit kurang banyak digunakan dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar.



**Gambar 2.4 Motor induksi rotor belitan**

Seperti yang terlihat pada gambar 2.5, penambahan tahanan luar sampai harga tertentu dapat membuat kopel mula mencapai harga maksimum, kopel mula yang besar ini memang diperlukan pada waktu start.

Motor induksi dengan rotor lilit memungkinkan penambahan (Pengaturan Tahanan Luar) tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin, selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start motor. Disamping itu dengan mengubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur. Dibawah ini terdapat rangkaian induksi dengan belitan memungkinkan penambahan tahanan luar.



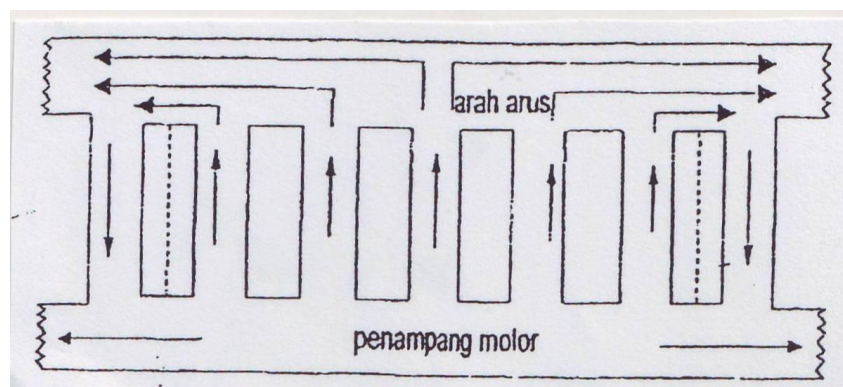
**Gambar 2.5 Rangkaian Rotor Belitan**

### 2.1.3 Beda Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan Rotor Lilit

Rotor Sangkar dapat dianggap sebagai lilitan – lilitan seri dengan langkah penuh (full pitch). Lilitan – lilitan seri tersebut dibentuk oleh pasangan – pasangan batang konduktor yang ujung – ujungnya disatukan oleh cincin hubung singkat, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.6

Jika kita bandingkan antara rotor sangkar dan rotor lilit ada perbedaan-perbedaan sebagai berikut :

1. Karakteristik motor induksi rotor sangkar sudah fixed, sedang pada motor induksi dengan rotor lilit masih dimungkinkan variasi karakteristiknya dengan cara menambahkan rangkaian luar melalui slip ring/sikatnya.
2. Jumlah kutub pada rotor sangkar menyesuaikan terhadap jumlah kutub pada lilitan statornya, sedangkan jumlah kutub pada rotor sudah tertentu.



**Gambar 2.6 Arus Pada Rotor Sangkar**



Suatu keuntungan dari motor induksi dengan rotor lilit adalah dapat ditambah tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Rangkaian motor induksi dengan rotor lilit, dilengkapi dengan tahanan luar. Dalam penggunaannya rotor sangkar lebih banyak dipakai sebab harganya murah. Kelemahan pada starting torque diatasi dengan konstruksi double squirrel cage dan deep bar cage

#### 2.1.4 Prinsip Kerja Motor Induksi<sup>9</sup>

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor – motor induksi yaitu :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44.f_2.N_2.m \dots\dots\dots (2.2)$$

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (ns) dengan kecepatan berputar rotor (nr).
8. Perbedaan kecepatan antara nr dan ns disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

<sup>9</sup> Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68

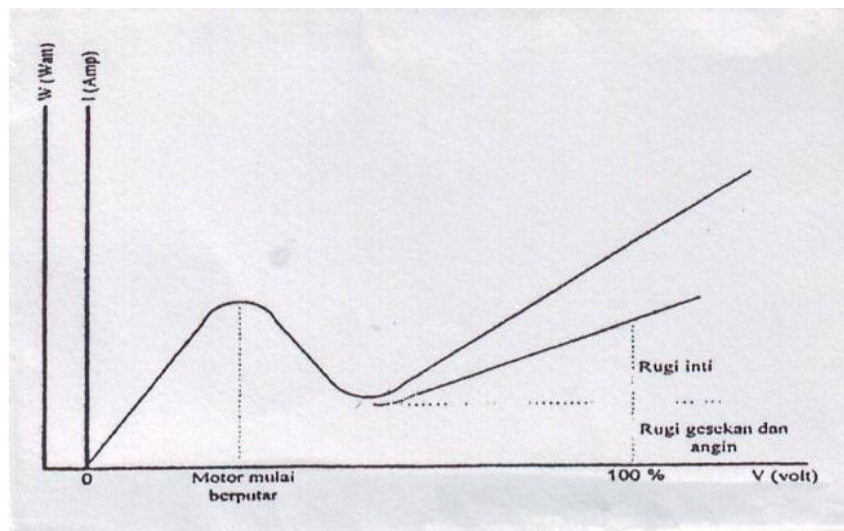
9. Bila  $n_r = n_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

### 2.1.5 Karakteristik Motor Induksi

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap - tiap motor mempunyai karakteristik sendiri - sendiri. Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu :

#### a. Karakteristik Beban Nol

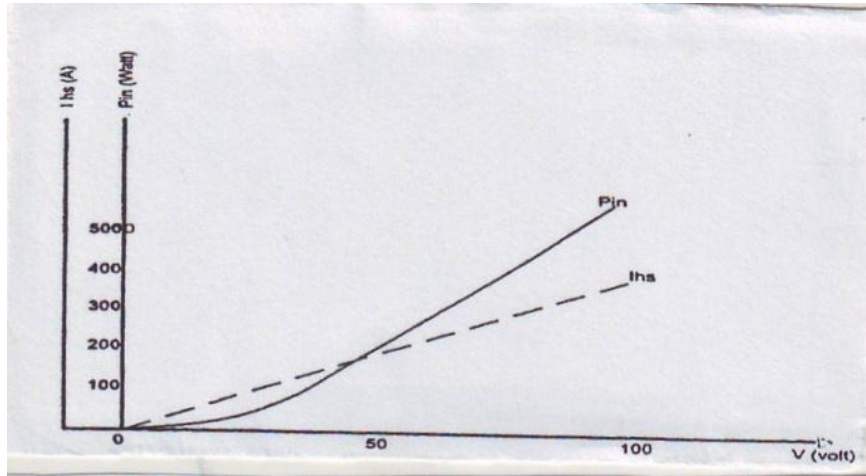
Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya  $\cos \phi$  motor pada keadaan tanpa beban, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.7, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.



Gambar 2.7 Karakteristik Beban Nol

b. Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk,  $\cos \phi$ , daya masuk. Seperti yang ditampilkan pada gambar 2.8 dibawah ini :

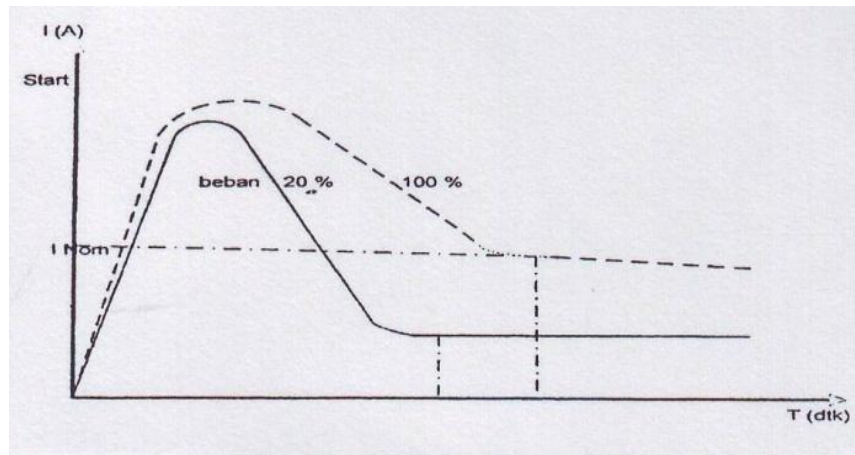


**Gambar 2.8 Karakteristik Rotor yang Diblok**

c. Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam – macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari gambar dibawah berikut (Gambar 2.9) dapat dijelaskan bahwa :

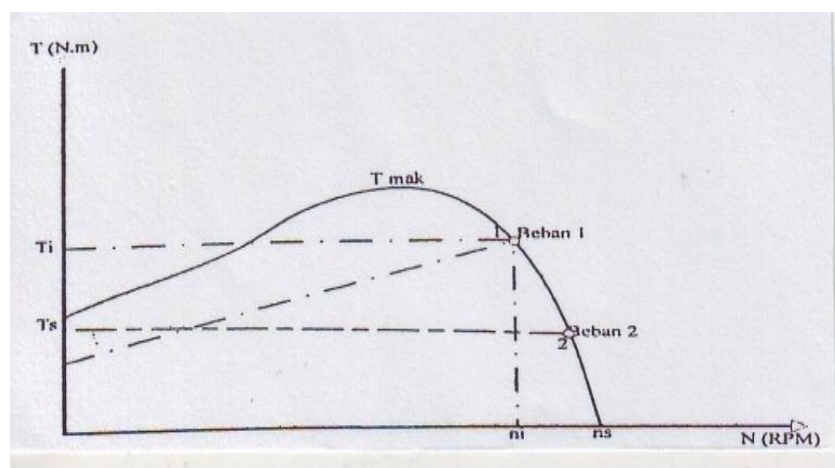
1. Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
2. Arus akhir ke motor lebih tinggi.
3. Putaran akhir motor akan lebih rendah.



**Gambar 2.9 Karakteristik Start**

d. Karakteristik Kopel dan Putaran

Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati  $n_s$ . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start  $< T_s$  maka motor dapat distart, masing-masing dengan titik kerja 1 (kopel kerja =  $T_1$  dan putaran kerja  $n_1$ ) dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat start  $> T_s$  maka motor tidak dapat distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi. Seperti yang terlihat pada gambar 2.10 berikut ini :



**Gambar 2.10 Karakteristik Kopel dan Putaran**





## 2.2 Rugi – Rugi pada Motor Induksi

Seperti kita ketahui bahwa motor – motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya output tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik yakni dalam operasi motor – motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$P_{in}$  : Total daya yang diterima motor

$P_{out}$  : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

$P_{rugi-rugi}$  : Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor.

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang.

Efisiensi motor listrik dapat didefinisikan dari bentuk diatas, sebagai perbandingan dimana :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)^{10}$$

Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor – faktor yang menyebabkan efisiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi – rugi listrik (rugi – rugi belitan).

<sup>10</sup> Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 76



2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi – rugi rotasi.
  - Rugi – rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu :
    - a. Rugi – rugi mekanis akibat putaran.
    - b. Rugi – rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

## **2.3 Jenis – Jenis Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa**

### **2.3.1 Pengasutan Langsung (Direct On Line)**

Rangkaian untuk pengasut langsung (DOL Direct On Line) akan memutuskan atau menghubungkan suplai utama ke motor secara langsung. Karena arus pengasutan motor dapat mencapai tujuh / delapan kali lebih besar dari arus kondisi normal, maka pengasut langsung ini hanya digunakan untuk motor-motor kecil dengan daya kurang dari 5 Kw.

Rangkaian pengasut langsung ini ditunjukkan oleh gambar. Jika tombol mulai (Start) ditekan maka arus akan mengalir dari fasa merah (R) melalui rangkaian kendali dan kumparan kontaktor ke fasa biru. Arus ini akan mengaktifkan kumparan kontaktor sehingga

kontaktor akan menutup untuk menghubungkan suplai 3 fasa ke motor. Jika tombol mulai dilepaskan rangkaian kendali akan tetap dipertahankan seperti semula melalui sebuah kontak penahan. Jika selanjutnya tombol berhenti (stop) ditekan atau jika kumparan-kumparan beban lebih bekerja maka rangkaian kendali akan terputus dan kontaktor akan membuka untuk memutuskan suplai listrik 3 fasa ke motor. Penghubungan kembali suplai ke motor hanya dapat dilakukan dengan menekan kembali tombol mulai, jadi rangkaian ini juga dapat memberi proteksi terhadap kehilangan tegangan suplai.

Untuk aplikasi-aplikasi industri dimana digunakan motor-motor dengan kapasitas daya yang besar, rangkaian pengasutan harus dirancang agar dapat mengurangi kelebihan arus asut. Salah satu metode yang digunakan ialah pengasutan bintang delta.





### 2.3.2 Pengasutan Bintang Segitiga

Untuk 3 buah beban, misalnya belitan-belitan dari otor 3 fasa, dihubungkan dalam hubungan bintang, maka arus saluran akan bernilai sepertiga dari nilai yang dimiliki jika beban yang sama dihubungkan dalam hubungan delta, sebuah pengasut yang mula-mula dapat menghubungkan belitan - belitan motor dalam hubungan bintang dan kemudian mengubahnya dalam hubungan delta akan dapat mengurangi arus lebih pengasutan. Susunan rangkaian untuk pengasutan bintang delta (star delta) ini diperlihatkan pada gambar. Untuk kondisi pengasutan, belitan-belitan motor dihubungkan dalam hubungan bintang pada titik a-b-c dari ujung-ujung belitan melalui sebuah kontaktor pembentuk hubungan bintang. Hal ini akan dapat mengurangi besarnya tegangan fasa sebesar 58 % dari tegangan kerja motor dalam kondisi berputar normal serta mengurangi arus & besarnya torsi motor. Jika motor telah berputar maka sebuah saklar ganda akan mengubah hubungan belitan motor dari hubungan bintang ke hubungan delta sehingga dapat diperoleh arus asut minimum dan torsi motor dalam kondisi berputar yang maksimum. Pengasut motor ini harus juga dengan peralatan proteksi beban lebih serta proteksi terhadap terjadinya kehilangan tegangan, walaupun pada gambar peralatan proteksi tidak ditunjukkan.

### 2.3.3 Pengasutan Dengan Autotransformator

Sebuah pengasutan motor dengan Autotransformator merupakan salah satu metode lain yang dapat digunakan untuk mengurangi besarnya arus pengasutan motor dengan jalan mengurangi besarnya tegangan selama proses-proses awal pengasutan karena pengurangan tegangan akan berakibat pada berkurangnya torsi asut maka tegangan akan direduksi secukupnya saja untuk mengurangi arus pengasut, dengan cara memilih tingkat tegangan tertentu di kenal sebagai tapping tegangan. Rangkaian pengasutan dengan autotrafo ditunjukkan pada gambar dengan memposisikan saklar pada posisi mulai (Start) maka akan diperoleh hubungan seri antara belitan-belitan auto trafo, dengan belitan pengasut motor yang terhubung delta. Ketika kecepatan puataran motor telah cukup tinggi, maka saklar dipindahkan ke posisi jalan (Run) yang akan menghubungkan belitan-



belitan motor secara langsung ke suplai tegangan 3 fasa. Keuntungan dari metode pengasutan ini ialah hanya memerlukan 3 buah kawat penghantar penghubung antara rangkaian pengasut motor dan rangkaian motor walaupun tidak terlihat di dalam gambar. Pengasut motor ini juga dilengkapi juga dengan peralatan proteksi beban lebih serta proteksi terhadap terjadinya kehilangan tegangan.

#### **2.3.4 Pengasutan Dengan Tahanan Rotor**

Untuk melakukan pengasutan motor dalam kondisi berbeban umumnya digunakan motor induksi dengan jenis rotor belitan karena memberi kemungkinan untuk melakukan penyambungan rangkaian rotor dengan tahanan luar melalui cincin slip dan sikat untuk meningkatkan torsi asut motor. Pada saat awal pengasutan motor, resistansi rotor luar adalah bernilai maksimum, kemudian seiring dengan meningkatnya putaran motor, resistansi rotor luar ini dikurangi secara bertahap hingga pada saat kecepatan penuh motor tercapai nilai resistansinya adalah nol dan motor bekerja normal seperti halnya rotor motor sangkar. Rangkaian pengasut motor ini dilengkapi juga dengan peralatan proteksi beban lebih, proteksi terhadap terjadinya kehilangan tegangan serta system interlocking untuk mencegah terjadinya pengasutan motor dalam kondisi pengasutan motor dalam kondisi resistansi rotor tak terhubung. Rangkaian seperti pada gambar, tetapi rangkaian proteksinya tidak ditunjukkan.

#### **2.3.5 Pengasutan Dengan Tahanan Mula Jalan**

Tidak seperti pengasutan pada motor rotor sangkar, pengasutan dengan tahanan mula jalan dilakukan pada motor rotor belitan ( slip ring/ cincin geser ). Kumputan rotor motor dihubungkan pada cincin geser dan sikat arang pada tahanan mula jalan.

Pada saat start kumputan rotor disambung seri dengan tahanan atur dalam kedudukan penuh/ maksimum, hal ini membuat arus rotor berkurang, sehingga arus start dari sumber ikut menurun.

Pada saat berputar penuh tahanan mula jalan terhubung singkat, menyebabkan kumputan jangkar hubung singkat dengan adanya peralatan

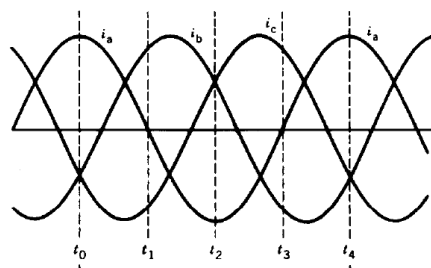
mekanik kontak khusus yang terdapat pada sumbu. Sehingga motor berputar seperti umumnya type motor induksi, dimana rotor dalam hubungan singkat.

Tahanan mula jalan sering dibuat dengan lima tingkat atau lebih dengan harga yang berbeda – beda. Berikut ditampilkan gambar hubungan antara motor slip ring ( cincin geser ) dengan tahanan mula jalan.

## 2.4 Medan Putar Motor induksi

Perputaran rotor pada motor arus bolak – balik terjadi akibat adanya medan putar ( fluks yang berputar ) yang memotong rotor. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan suplai fasa banyak, umumnya tiga fasa. Pada saat terminal tiga fasa motor induksi dihubungkan dengan suplai tiga fasa maka arus bolak – balik tiga fasa  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  yang terpisah sebesar 120 derajat satu sama lain akan mengalir pada kumparan stator. Arus – arus ini akan menghasilkan gaya gerak magnet yang kemudian menghasilkan fluks yang berputar atau disebut juga medan putar.

Untuk melihat bagaimana medan putar dihasilkan, maka dapat diambil contoh sebuah motor induksi tiga fasa yang dihubungkan dengan sumber tiga fasa sehingga pada stator mengalir arus tiga fasa yang kemudian menghasilkan medan putar, seperti berikut ini :



Gambar 2.11 Medan putar

Pada kondisi  $t_0$  dan  $t_4$  :

$$i_a = I \max$$

$$F_a = F \max$$

$$i_b = -\frac{I \max}{2}$$

$$F_b = -\frac{1}{2} F \max$$

$$i_c = -\frac{I \max}{2}$$

$$F_c = -\frac{1}{2} F \max$$

Pada kondisi  $t_1$  :

$$ia = 0$$

$$Fa = 0$$

$$ib = \frac{\sqrt{3} I_{max}}{2}$$

$$Fb = \frac{\sqrt{3}}{2} F_{max}$$

$$ic = -\frac{I_{max}}{2}$$

$$Fc = -\frac{\sqrt{3}}{2} F_{max}$$

Pada kondisi  $t_2$  :

$$ia = -I_{max}$$

$$Fa = -F_{max}$$

$$ib = \frac{I_{max}}{2}$$

$$Fb = \frac{1}{2} F_{max}$$

$$ic = \frac{I_{max}}{2}$$

$$Fc = \frac{1}{2} F_{max}$$

Pada kondisi  $t_3$  :

$$ia = 0$$

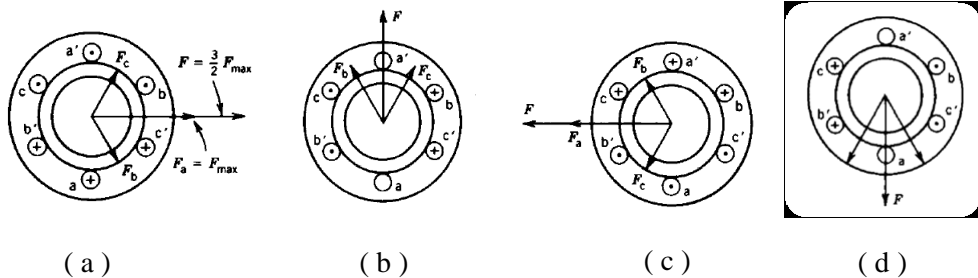
$$Fa = 0$$

$$ib = -\frac{\sqrt{3} I_{max}}{2}$$

$$Fb = -\frac{\sqrt{3}}{2} F_{max}$$

$$ic = \frac{\sqrt{3} I_{max}}{2}$$

$$Fc = \frac{\sqrt{3}}{2} F_{max}$$



Gambar 2.12. (a) kondisi  $t_0$  dan  $t_4$ , (b) kondisi  $t_1$ , (c) kondisi  $t_2$ , (d) kondisi  $t_3$ .

Kecepatan putaran medan putar stator dinamakan kecepatan sinkron, medan putar stator kemudian memotong konduktor pada batang rotor sehingga pada konduktor rotor timbul tegangan induksi yang mengakibatkan rotor ikut berputar setelah melalui beberapa proses. Arah putaran rotor motor induksi searah dengan arah putaran medan putar, namun kecepatan putaran rotor lebih rendah dari kecepatan sinkronnya. Perbedaan kecepatan putaran ini dinamakan slip motor induksi.

## 2.5 Slip

Kecepatan putaran rotor motor induksi harus lebih lambat dari kecepatan sinkronnya supaya konduktor pada rotor selalu dipotong oleh medan putar, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi yang akan menghasilkan arus induksi pada rotor. Arus induksi ini kemudian berinteraksi dengan fluks yang dihasilkan stator sehingga menghasilkan torsi. Selisih antara kecepatan putaran rotor dengan kecepatan sinkronnya disebut slip ( $s$ ). Pada umumnya slip dinyatakan dalam persen dari kecepatan sinkron,

$$\text{Slip } (s) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$N_s$  = Motor sinkron

$N_r$  = Kecepatan putar motor

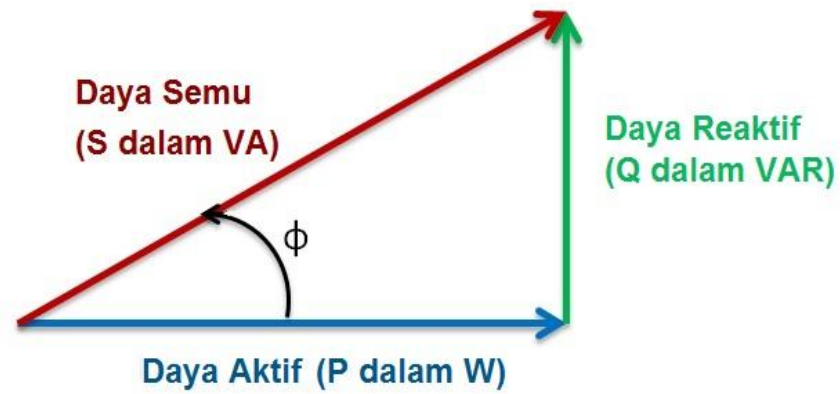
## 2.6 Pengertian Daya

Daya dalam tegangan AC Pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak – balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya efektif, daya reaktif dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

- Daya reaktif ( $P$ ) adalah daya yang diubah menjadi energi, persatuan waktu atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang benar – benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah watt ( $W$ ).
- Daya reaktif ( $Q$ ) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi, daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif ( $XL$ ) atau reaktansi kapasitif ( $XC$ ), satuannya adalah volt ampere reaktif ( $VAR$ ).
- Daya semu ( $S$ ) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan volt ampere ( $VA$ ).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segi tiga daya berikut ini :



Gambar 2.13 Sistem Segitiga Daya

Dimana :

$$P = V.I.\cos \theta \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q = V.I.\sin \theta \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.9)$$